

열화상을 이용한 접목묘 결합 부위의 식물체온 측정^{*}

Measurement of Plant Temperature at the Joining Parts of Grafted Seedlings Using Thermography

김용현* 이상헌 김진국
정희원
Y.H. Kim S.H. Lee J.K. Kim

1. 서론

접목묘의 활착상태에 미치는 환경요소의 영향을 분석할 때 대목과 접수의 결합에 지장을 초래하지 않는 방법의 적용이 바람직하다. 김과 김(2000)은 대목과 접수의 결합상태를 가시적으로 이해하고자 통도조직의 3차원 가시화를 시도한 바 있다. 그런데 이 경우 시료가 절단된 상태에서 영상 획득이 이루어지는바, 시료 준비와 영상처리에 많은 노력과 시간이 투입되는 문제점이 나타났다.

접목묘의 활착 단계에서 접수와 대목이 접합부를 형성하면서 통도조직이 결합되려면 상호의 캘루스(callus) 증식 및 분화되기 위한 생리 반응이 필요하다(Oda, 1995). 그런데 캘루스의 증식 및 분화와 같은 생리 반응 속도는 결합부위의 온도에 의해서 결정될 것으로 예상된다. 그러므로 접목 후 대목과 접수를 정상적으로 결합시키려면 결합 부위의 식물체온도가 일정 수준 이하로 내려가지 않도록 활착이 이루어지는 공간의 기온을 관리할 필요가 있다.

원격 측정의 한 방법인 열화상과 디지털 영상 분석을 이용하면 대상 작물에 직접적으로 접촉하지 않고도 작물의 연속적인 생체 정보를 비파괴적으로 측정할 수 있다. 이제까지 열화상 정보를 이용하여 각종 스트레스에 대한 작물의 반응을 구명한 결과가 보고되었으나(채, 2000; Ceccardi, 1995; Inoue, 1986; Hashimoto et al., 1984), 활착 단계에 있는 접목묘의 결합 부위에 관한 보고가 이루어지지 않고 있다. 그러므로 본 연구는 광질이 다른 환경하에서 활착된 접목묘를 대상으로 열화상과 디지털 영상처리 장치를 사용하여 접목묘 결합 부위의 온도 변화를 측정하고, 결합 상태를 비파괴적으로 해석하고자 시도되었다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 품종 및 실험 조건

열화상 정보의 측정에 사용된 수박 접목묘는 편엽삽접된 것으로서, 대목과 접수에 각각 FR-흙린(홍농종묘)과 감로(홍농종묘)를 사용하였다. 접목 후 활착은 김(2000)이 개발한 인공

^{*} 본 연구는 2001년도 농림부 농림기술관리센터의 첨단기술개발과제로 수행되었음.

* 전북대학교 생물자원시스템공학부(농업과학기술연구소)

광형 활착촉진장치 내에서 이루어졌다.

광질이 다른 환경하에서 활착된 접목묘의 결합 부위에 대한 열화상 정보를 얻고자 인공광원으로 백색광(FL-40D, 신광전기), 청색광(FL-40B, 별표), 적색광(FL-40R, 금동) 형광등을 사용하였다. 상기의 형광등을 인공광원으로 사용한 가운데 4처리 (백색광, 청색광, 적색광, 청색광+적색광)의 광질로 구분하였다. 각각의 처리에서 광합성유효광량자속은 플러그트레이 표면을 기준으로 $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 을 유지하였다. 청색광과 적색광을 혼합한 혼합광의 경우 광합성유효광량자속을 기준으로 적색광과 청색광을 2:1의 비율로 조정하였다.

나. 열화상 측정 방법

접목묘 결합 부위의 온도 변화를 측정하고자 열화상 처리 장치(IQ 812, FLIR System Co. Ltd.)를 사용하였다. 본 실험에서 사용된 열화상 처리 장치는 그림 1과 같이 열화상 촬영기, 영상 처리기, 모니터 등으로 구성된다.

서로 다른 광질 처리에서 활착되는 접목묘의 접목 후 경과한 일수에 따라 결합 부위의 식물체 온도가 변화하는 특성을 측정할 때 외부 영향을 줄이기 위하여 온도, 습도, 풍량 조절이 가능한 인공광형 활착촉진장치 내에서 열화상을 획득하였다. 이 때 열화상 촬영기는 접목묘로부터 약 50cm 떨어진 곳에 위치하였다. 열화상 정보를 정확하게 획득하려면 주위 물체로부터의 복사에 의한 효과를 최소화하는 것이 바람직하다. 이를 위하여 본 연구에서는 접목묘 주위의 온도를 균일하게 하고자 스티로폼을 접목묘의 배경으로 사용하였다. 실험 중

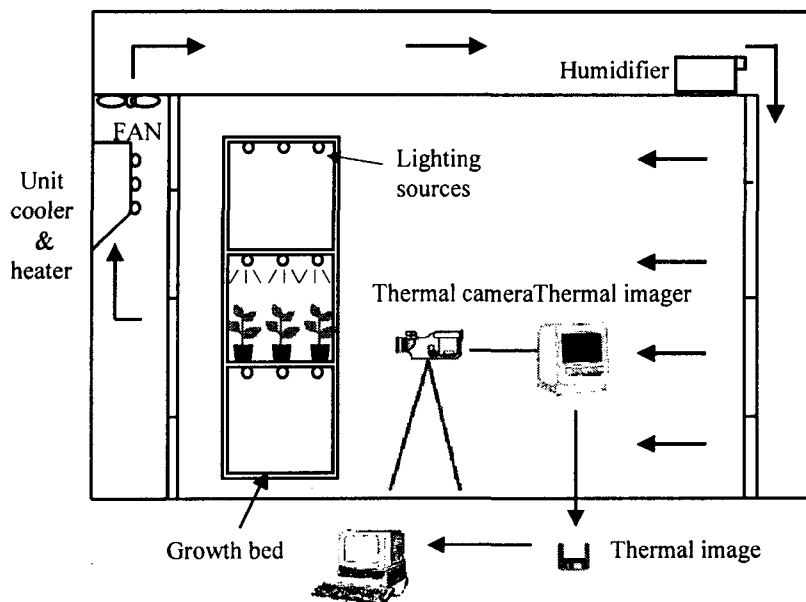


Fig. 1. Schematic diagram of the thermal image processing system in the apparatus for graft-taking enhancement of grafted seedlings

활착촉진장치 내의 기온, 상대습도, 광주기는 각각 26~28℃, 90%, 12/12h로 유지하였다. 결

합 부위에 대한 열화상 정보는 접목 후 2일째부터 열화상 장치를 이용하여 12시간 단위로 획득하였다.

접목 후 시간이 경과함에 따른 결합 부위의 온도 변화는 열화상 장치와 함께 제공된 열화상 처리 프로그램(AnalyzIR+)을 사용하여 분석하였다. 획득된 열화상은 가로 640 화소, 세로 480 화소로 이루어져 있으며, 온도에 따라 각기 다른 256색으로 표현된다. 각각의 열화상에서 대목과 접수의 결합 부분과 결합 부위 이외의 줄기 부분에 대한 온도는 가로 10 화소와 세로 15 화소에 해당하는 면적을 기준으로 온도를 산출하였다. 특히 줄기 부분에 대한 온도의 기준점을 설정하고자 플러그트레이 표면으로부터 50 화소 떨어진 지점의 온도를 측정하였다. 측정된 면적($W10 \times H15 = 150$ pixels)에 대한 온도는 평균온도, 최소온도, 최대온도로 구분하여 표시하였다. 열화상 처리 프로그램의 온도 범위와 배경의 복사율은 각각 $13 \sim 33^\circ\text{C}$, $0.64 \sim 0.65$ 로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 백색광하에서 활착된 접목묘의 온도 변화

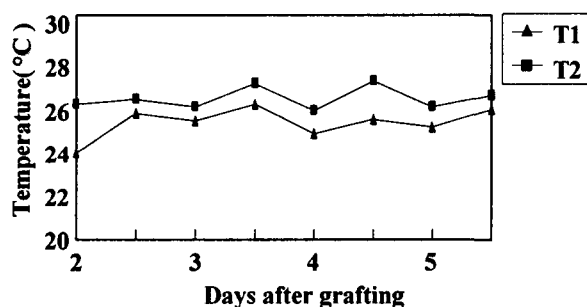


Fig. 2. Plant temperature as affected by the days after grafting at joining part And stem of grafted seedlings graft-taken under white fluorescent lamp.

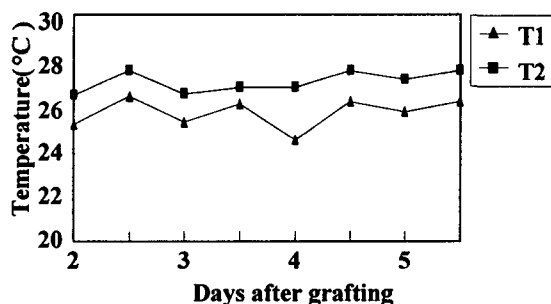


Fig. 3. Plant temperature as affected by the days after grafting at joining part And stem of grafted seedlings graft-taken under blue fluorescent lamp.

나. 청색광하에서 활착된 접목묘의 온도 변화

그림 2는 백색광 형광등(FL-40D)하에서 활착된 접목묘의 접목 후 2~5일 동안 동일 조건의 접목묘 3주에 대한 접목 부분 온도(T1)와 줄기부분의 온도(T2)를 나타낸 것이다.

그림 2에서 접목부분의 온도가 접목 후 2일째의 경우 약 24°C 로 나타났으며, 접목 후 5일이 경과하였을 때에는 약 26°C 로서 2°C 정도 상승하는 것으로 나타났다. 한편 줄기부분의 온도가 명기에는 약 26°C , 암기에는 약 27°C 를 유지하고 있다. 그리고 활착이 이루어지는 동안 접목묘 결합 부위의 온도가 줄기 부분에 비해서 약 $1 \sim 3^\circ\text{C}$ 낮게 유지되는 것으로 나타났다. 한편 활착기간 동안 인공광원의 광주기를 $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 조절한 바, 접목부분과 줄기부분의 온도가 명기에는 다소 내려갔다가 암기로 접어들면서 상승하는 현상이 반복적으로 나타났다.

그림 3은 청색광(FL-40B) 형광등하에서 활착된 접목묘의 접목 후 2~5일 동안 접목묘의 접목부분과 줄기부분의 온도를 나타낸 것이다. 접목부분의 온도가 접목 후 2일째의 경우 약 25℃이나, 접목 후 5일째에서는 약 26℃로서 활착이 이루어지면서 식물체온이 1℃ 증가하였다. 백색광에서와 마찬가지로 접목부분과 줄기부분의 온도가 명기에는 다소 내려갔다가 암기로 접어들면서 상승하는 현상이 반복적으로 나타났다.

다. 적색광하에서 활착된 접목묘의 온도 변화

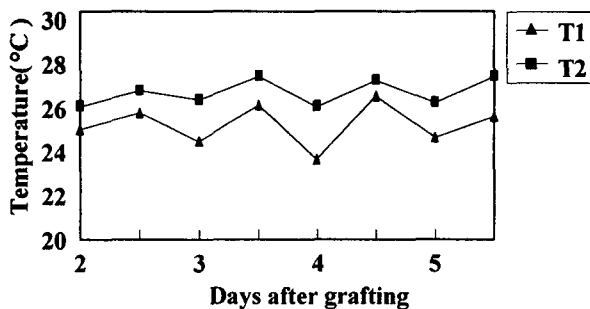


Fig. 4. Plant temperature as affected by the days after grafting at joining part And stem of grafted seedlings graft-taken under red fluorescent lamp.

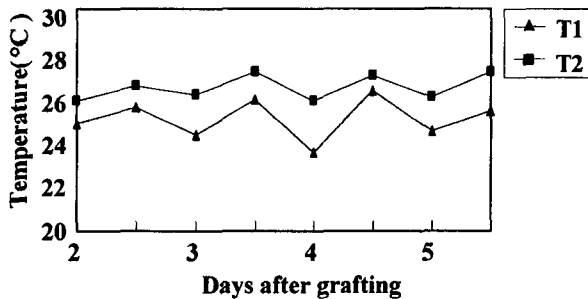


Fig. 5. Plant temperature as affected by the days after grafting at joining part And stem of grafted seedlings graft-taken under blue / red fluorescent lamp.

그림 4는 적색광(FL-40R) 형광등하에서 활착된 접목묘의 접목부분과 줄기부분 온도를 나타낸 것이다. 접목부분의 온도가 접목 후 2일째의 경우 약 25℃이나, 접목 후 5일째에서는 약 25.6℃로서 활착 기간 동안 큰 차이가 없었다. 백색광과 청색광에서와 마찬가지로 식물체 온도가 명기에는 다소 내려갔다가 암기로 접어들면서 상승하는 현상이 반복적으로 이루어졌는데, 이러한 결과는 접목부분에서 분명하게 나타났다.

라. 청색광과 적색광의 혼합광하에서 활착된 접목묘의 온도 변화

그림 5는 적색광(FL-40R)과 청색광(FL-40B)을 2:1의 비율로 혼합하여 조성한 혼합광 형광등하에서 활착된 접목묘의 접목 후 2~5일 동안 접목부분과 줄기부분 온도차를 나타낸 것이다. 접목부분의 온도가 접목 후 2일째의 경우 약 22℃로서 다른 광질 처리에 비해서 낮게 나타났으며, 접목 후 5일째에서는 약 26℃로서 활착 기간 동안 약 4℃ 상승하는 것으로 나타났다. 줄기부분의 평균온도는 명기의 경우 약 26℃, 암기에는 약 27℃를 유지하였다. 다른 광질 처리에서와 마찬가지로 식물체 온도가 명기에는 다소 내려갔다가 암기로 접어들면서 상승하는 반복 현상이 분명하게 나타났으나, 접목 후 일수가 경과함에 따라 암기와 명기의 온도차가 점차 감소하였다.

마. 광질에 따른 접목부분과 줄기부분의 온도차 비교

그림 6은 접목 후 2~5일 동안 백색, 청색, 적색 및 적색과 청색을 혼합한 광하에서 활착된 접목묘의 줄기부분에 대한 접목부분의 온도차를 나타내고 있다. 접목 후 2일째에 백색광에서 활착된 접목묘의 온도차는 2.2℃였으나, 접목 후 5일째의 명기에는 0.9℃로 나타났다.

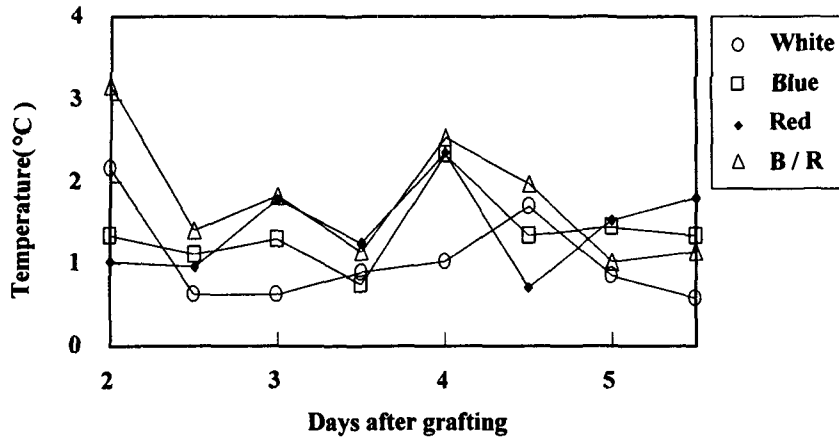


Fig. 6. Comparison of plant temperature difference between at joining part and at Stem of grafted seedlings under white, blue, red, and blue/red fluorescent lamp

줄기 부분과 접목 부분의 평균 온도차가 접목 후 일수가 경과함에 따라 온도차가 점차 감소하였다. 한편 활착기간 암기에 비해서 명기의 온도차가 다소 높게 나타났다.

접목 후 2~5일 동안 청색광하에서 활착된 접목묘의 줄기부분에 대한 접목부분의 온도차는 2일째에 1.3°C이고, 5일째에 1.3°C로 나타나 백색광과 다르게 접목 후 경과한 일수에 따라 온도차가 감소하는 경향이 두드러지게 나타나지 않았다. 또한 명기와 암기에 따른 식물체온의 차이가 비슷하게 나타났다. 한편 접목 후 4일째의 명기에 온도차가 명기 전후의 온도차에 비해서 높게 나타났는데, 이러한 결과가 광질에 따른 것인지 또는 실험 오차에 기인한 것인지를 여부는 현재까지 분명하지 않다.

적색광하에서 활착된 접목묘의 경우 줄기부분에 대한 접목부분의 온도차가 접목 후 2일째에 1.0°C이나, 접목 후 5일째에 1.5°C로서 접목 후 경과한 일수에 따라 온도차가 감소하였던 백색광과 청색광과 다르게 접목 후 경과한 일수에 따라 다소 증가하였으며, 이와 같은 증가 경향은 명기에서 분명하게 나타났다. 한편 청색광에서와 유사하게 접목 후 4일째의 명기에 해당하는 온도차가 명기 전후의 온도차에 비해서 높게 나타났다.

청색광과 적색광을 혼합한 혼합광하에서 활착된 접목묘는 접목 후 2일째에 3.2°C이나, 접목 후 5일째에 1.1°C로서 접목 후 일수가 경과함에 따라 온도차가 크게 감소하였다. 온도차의 감소가 접목 후 2일째의 암기에서 분명하게 나타났으며, 그 후에는 서서히 감소하였다. 다른 광질 처리와 마찬가지로 접목 후 4일째의 명기에 해당하는 온도차가 명기 전후의 온도차에 비해서 높게 나타났다.

광질에 따라 줄기부분에 대한 접목부분의 온도가 차이가 있으며, 접목 초기 대목과 접수의 결합부위에 해당하는 식물체 온도가 줄기부분의 온도에 비해서 1.0~3.2°C정도 낮게 나타났으며, 활착이 진행되면서 결합부위와 줄기부분의 온도차가 0.6~1.8°C정도로 감소하였다.

4. 요약 및 결론

활착이 이루어지는 동안 접목묘 결합 부위의 식물체 온도 변화에 미치는 광질효과를 구명하고자 열화상측정 시스템을 사용하였다.

접목묘의 활착기간 동안 접목 부위의 온도는 줄기 부위에 비해서 낮게 나타났으며, 활착이 이루어지면서 접목부위와 줄기부위의 온도차가 감소하였다. 접목묘의 식물체 온도는 백색광, 청색광, 적색광 및 혼합광의 모든 처리에서 광질과 무관하게 명기에 내려가고 암기에 올라가는 현상이 반복적으로 나타났다. 일반적으로 광합성이 이루어지는 명기에 엽온과 같은 식물체 온도가 높게 나타나는 것과 비교할 때 상기의 결과는 정반대에 해당하는 바 이 부분에 대한 상세한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 김용현. 2000. 인공광을 이용한 접목묘 활착촉진시스템의 시작품 설계 -활착촉진 시스템 내의 기온과 상대습도 분포에 미치는 기류속도의 효과-. 한국농업기계학회지 25(3):213-220.
2. 김용현, 김철수. 2000. 접목묘 통도조직의 3차원 가시화. 한국농업기계 동계학술대회 논문집 5(1):492-498.
3. 채희연. 2000. 열화상을 이용한 작물 생장 감시. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
4. Ceccardi. T.L., R.L. Heath, and I.P. Ting. 1995. Low-temperature exotherm measurement using infrared thermography. Hortscience. 30(1):140-142.
5. Hashimoto. Y., T. Ino, P.J. Kramer, A.W. Naylor, and B.R. Strain. 1984. Dynamic analysis of water stress of sunflower leaves by means of a thermal image processing system. Plant Physiology 79:266-269.
6. Inoue. Y. 1986. Remote - monitoring of function and state of crop community. Japanese Journal of Crop Science 55(2):261-268.
7. Oda, M. 1995. New grafting methods for fruit-bearing vegetables in Japan. JARQ 29:187-194.